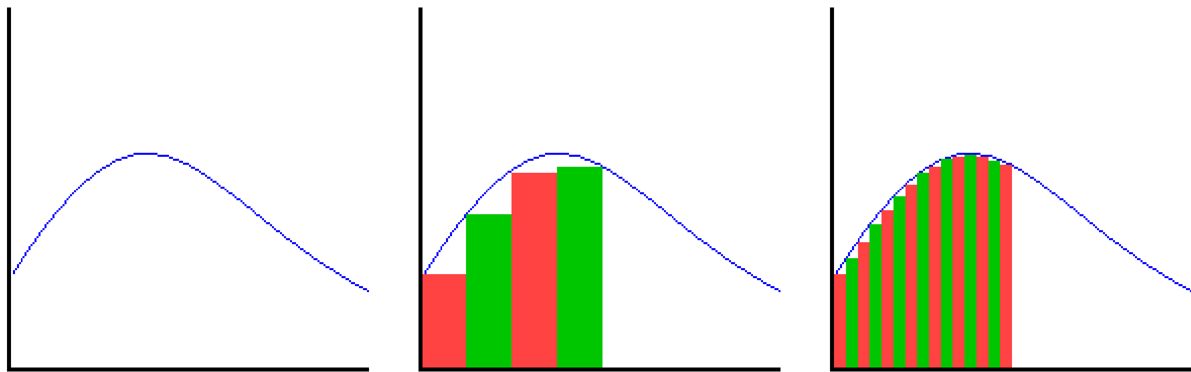
Analoog naar digitaal geluid





Pascal Vyncke
1e Kan Informatica
Universiteit Antwerpen

Inhoud

Wat is geluid ?

Fysisch gezien is geluid de trillingen die zich verplaatsen door een medium via golven. Uiteraard is dit medium meestal lucht. Aan deze definitie is ook meteen uit af te leiden dat geluid zich niet kan voortplanten in het luchtledige, daar het een medium nodig heeft om zich voort te planten.

Geluid is ook anders te definiëren: namelijk wat een mens kan horen. Alles wat een mens kan horen via de oren, is geluid. De mens kan geluid horen met een frequentiebereik van 20 Hz tot 20 000 Hz. Dit 'geluidsvenster' hangt echter af van persoon tot persoon en verkleint in de loop van het leven. Bij veel volwassenen daalt de hoogst mogelijke hoorbare toon tot 15 kHz. Het is echter zo dat andere dieren een ander frequentiebereik kunnen horen. Lagere of hogere tonen.

De frequentie is het aantal trillingen per seconde. De laagste toon die een gezonde mens kan horen is ongeveer 20 Hz. Met andere woorden dus een geluid dat 20 trillingen per seconde veroorzaakt. De hoogste frequentie is 20 000 Hz, of 20 kHz afgekort, met andere woorden dus 20 000 trillingen per seconde. We noemen daarom ook het eerste een 'lage' toon (laag aantal trillingen per seconde) en de laatste een 'hoge' toon (hoog aantal trillingen per seconde).

Dieren die hogere frequenties kunnen horen en gebruiken zijn o.a. insecten, vleermuizen, dolfijnen en honden. Een toepassing in het dagelijkse leven hiervan is het hondenfluitje. Zelf kan je niets horen, maar de hond hoort deze toon echter wel. Dergelijke hoge tonen noemt men ultrasone geluiden, dit gaat officieel van 18 of 20 kHz (afhankelijk welke bron je raadpleegt) tot zo'n 800 MHz, ofwel 800.000.000 Hz. Boven de 800 MHz noemt men het hypersone geluiden.

Voor mensen is geluid belangrijk voor onderlinge communicatie (praten), waarschuwingssignalen (brandalarm, autoclaxon,…), amusement en ontspanning (muziek). Maar ook voor andere dieren is dit zeer belangrijk voor onderlinge communicatie, waarschuwingssignalen voor andere dieren en het horen van vijanden of gevaar.

Dove mensen kunnen geen geluid horen via hun oren. Bij hen is er een probleem met het trommelvlies, hamer,… waardoor zij niet kunnen horen. Zij kunnen echter wel bepaalde geluiden 'voelen'. Onweer, (luide) muziek, sterke bevingen (trein die voorbij rijdt,…) kunnen zij toch aanvoelen.

Volledig uitleggen hoe geluid fysisch is, frequentie, de golfvormen, enz. gaat te ver voor dit werkje dat gaat over analoog en digitaal geluid.

Wat is analoog geluid ?

Analoog geluid is eigenlijk het geluid dat wij kennen. Analoog betekend 'hetzelfde als'. Het geluid wat je kan waarnemen is altijd analoog geluid. Het praten, vallen van bladeren, een auto, een blaffende hond, een drilboor, enz. veroorzaken allemaal analoog geluid.

Het analoge geluid is het geluid dat bestaat uit golfvormen. Ons oor registreert dit analoge geluid en stuurt dit door naar onze hersenen. In dit hele proces blijft het geluid 'analoog' en wordt zeker niet gedigitaliseerd.
Ook het detecteren van geluid door middel van een microfoon die vervolgens een wisselend elektrisch signaal vormt is analoog geluid.

Wat is digitaal geluid ?

Digitaal geluid bestaat niet, zo simpel is dat. Er bestaat geen geluid dat je digitaal kan horen. Neen, alles wat je kunt horen is analoog.
Wat echter digitaal geluid wordt genoemd is de informatieopslag van analoog geluid in digitale vorm. In digitale vorm betekent zoveel als omschreven met 1'en en 0'en.

Met getallen kunt u informatie vaak exacter uitdrukken. Als u meneer Peeters wilt bellen, zal dit niet meevallen, want er zijn véél mensen die zo heten. Het telefoonnummer van meneer Peeters draaien is echter niet zo moeilijk. Een telefoonnummer werkt omdat elke aansluiting een eigen nummer heeft en we weten hoe we dit nummer met een telefoon moeten gebruiken. Iedere meneer Peeters heeft een ander nummer, zodat je niet bij de verkeerde Peeters terecht komt.

Soms zijn nummers alleen niet genoeg. "Ga naar links wanneer u een tijdje rechtdoor hebt gereden" is minder nauwkeurig dan "ga bij het derde verkeerslicht naar links". Er is echter een probleem met nummers. Op zich brengen ze namelijk geen informatie over. "Ga bij drie naar links" zegt weinig. Drie wat? Bomen? Kilometer? Verkeerslichten? Huizen? Wanneer nummers worden gebruikt, met er extra informatie bij om uit te leggen waarop die nummers betrekking hebben of hoe ze moeten worden geïnterpreteerd.

Om (analoog) geluid vast te leggen op een computer, CD of DVD moet het geluid dus omgezet worden naar cijfers. Deze cijfers worden op zich omgezet naar binaire getallen. Dit is omdat de computer enkel maar tot 1 kan 'tellen'. 0 en 1 kent de computer, meer niet. Het is echter zo dat door een reeks 1'en en 0'en achter elkaar te plaatsen en gebruik te maken van bepaalde regels (dat het opgeslagen is als flowting point getal, als two's compliment,…) een computer informatie kan opslaan. Deze informatie kan tekst zijn, maar ook geluid.
Als het geluid is opgeslagen, op bijvoorbeeld een harde schijf, en men wenst het te horen, dan gaat de computer de binaire informatie inlezen. Deze reeks binaire cijfers worden omgezet naar getallen en vervolgens worden deze getallen omgezet naar een bepaald elektrisch signaal dat de computer zal versturen via de geluidskaart naar de luidspreker.
Dit elektrisch signaal is op dat ogenblik al 'analoog' geluid. Als het uit de luidspreker komt kan je het vervolgens horen. Maar wat je dus hoort is opnieuw analoog geluid, geen digitaal.

Hoe wordt analoog geluid omgezet in digitaal geluid ?

De basis van computers is ontzettend eenvoudig. Een computer werkt zoals gezegd enkel maar met enen en nullen. Computers zijn echter ontzettend snel in het verwerken van grote groepen binaire getallen en kunnen op die manier ingewikkelde taken uitvoeren.

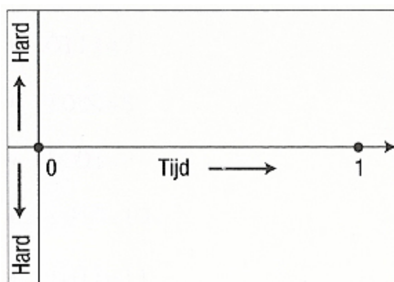
Toch voor we beginnen met het echte uitleggen hoe we een analoog geluid omzetten naar een digitaal geluid nog een beetje extra informatie over het binaire systeem.

De kleinste eenheid van informatie waarmee de computer kan werken is een bit. Een bit staat aan (1) of uit (2). Een enkele bit kan van alles voorstellen. Misschien hebt u de computer verteld dat een bepaalde bit weergeeft of het licht in uw kamer aan of uit is. Of dat diezelfde bit aangeeft of uw hond vlooien heeft of niet.

2 bits kunnen echter 4 verschillende toestanden aangeven: 00, 01, 10, 11. Met 3 bits kunnen we 8 verschillende toestanden weergeven, en met 4 bits 16 toestanden. Het aantal komt overeen met 2^x, waarbij x het aantal bits is.
Een groep van 8 bits wordt een byte genoemd. Computers werken meestal met groepen van 8 bits, heel veel dingen worden daarom uitgedrukt in bytes. Een halve byte wordt een nibble genoemd.
Een nibble is niet half zo nuttig als een byte. Eigenlijk maar 1/16 zo nuttig als we gaan tellen. Met een nibble kunnen we tot 16 tellen, met een byte gaan we tot 256. 16/256 is 1/16. Het gebruik van half zoveel bits is in dit geval slechts 1/16 zo informatief.
Naarmate we meer bits gebruiken, neemt de productiviteit en bruikbaarheid toe. Kijk maar:

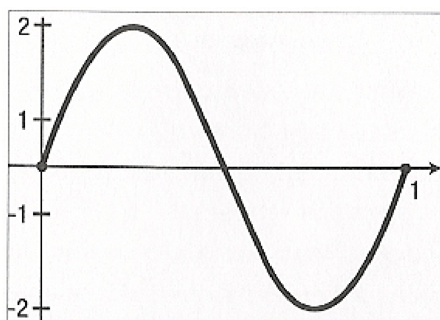
- 8 bits = 256 verschillende getallen
- 9 bits = 512 verschillende getallen
- 10 bits = 1.024 verschillende getallen
- 11 bits = 2.058 verschillende getallen
- 12 bits = 4.096 verschillende getallen
- 13 bits = 8.192 verschillende getallen
- 14 bits = 16.384 verschillende getallen
- 15 bits = 32.768 verschillende getallen
- 16 bits = 65.535 verschillende getallen

Zoals de formule 2^x aangeeft, per extra bit kunnen we dubbel zoveel informatie weergeven. En dit is interessant.



Kijk naar de figuur. Dit is een voorstelling van de tijd versus de amplitude. Alles begint bij nul. Wanneer u naar rechts gaat, gaat u vooruit in de tijd. We beginnen te tellen bij 0. De 1 aan de rechterzijde is 1 seconde later.

Op de verticale as is alles wat verder van de middenlijn is verwijderd harder. De 0 in het midden is de plaats waar geen geluid is. Een verplaatsing ten opzichte van de horizontale lijn betekent geluid. Dit is de voorstelling gekozen zoals een luidspreker werkt. De luidspreker heeft een 'vlies' dat voorwaarts en achterwaarts vibreert. Het naar boven gaan is naar u toe vibreren, het naar onderen gaan op de tekening is dat het vlies van u weg beweegt (dus naar de luidspreker toe). Alles wat dus op zo'n grafiek getekend is, is een weergave van hoe uw luidsprekers heen en weer zouden bewegen terwijl u naar muziek (of ander geluid) luistert.
De golf in de volgende figuur heeft een sinusvorm. Alle geluiden kunnen worden beschreven als combinaties van sinusgolven. Wanneer u in het midden aan een gitaarsnaar trekt, probeert deze te klinken als een sinusgolf. Voor het overzetten van analoog naar digitaal geluid hoeven we het geluid echter niet te ontleden in sinusgolven. (dit zou via o.a. Fourier analyse kunnen).

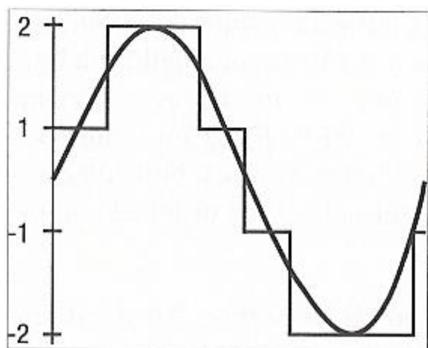


Wat we echter wel gaan doen is het omzetten van deze golf in getallen. Eerst moet er een getal zijn dat vertelt hoe ver de golf verticaal is verwijderd van het nulpunt wanneer deze wordt gemeten. De hoogste en laagste punten op de golf vormen het hoogste getal dat u moet gebruiken. De bovenste en onderste horizontale lijnen tonen het bereik dat nodig is voor dit voorbeeld. Elk punt boven de horizontale lijn in het midden is een positief getal, elk punt eronder is een negatief getal.

Stel, we gaan 2 bits gebruiken voor dit voorbeeld om de sinus te coderen (dus om te zetten in cijfers). Met 2 bits om te vertellen hoe hoog of hoe laag de golf gaat kunnen we dus 4 niveaus aangeven. (we nemen 2 boven de nulas en twee onder)
Zelfs al is de golf continu tussen waar deze 1 en 2 snijdt, toch is er geen manier om deze continue curve met slechts 2 bits uit te drukken: we kunnen pas 1 zeggen als de golf 2 heeft bereikt.

Hoe dikwijls de golf ook wordt gekapt in stukjes, deze kan alleen 1 zijn, daarna 2, dan 1, vervolgens -1, -2, -1, …

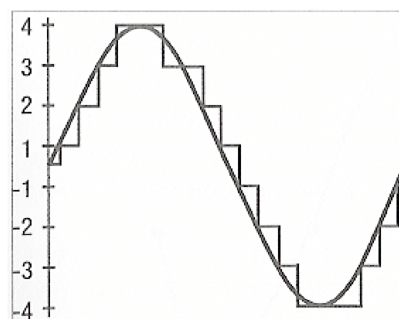
Op de volgende figuur ziet u de trapvormige lijn die we kunnen maken met 2 bits. Dit is de best mogelijke voorstelling met 2 bits.



Maar met 2 bits lijkt de opgenomen golf niet echt op de originele golfvorm. De samplingfrequentie (dus het aantal keren per seconde dat we opnemen waar de originele golf zich bevond) is pas belangrijk als we voldoende bits hebben om de juiste positie van de golf vast te leggen.

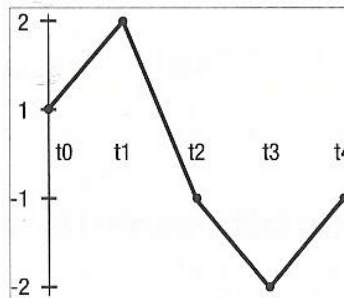
Met 3 bits kunnen we in élke richting tot 4 tellen en dit met maar één bit meer dan in het voorgaande voorbeeld. Het 3-bit voorbeeld, de figuur hieronder, ziet er al veel meer uit dan de bedoelde golfvorm uit het vorige voorbeeld.

Zoals al eerder gezegd: hoe meer bits hoe nauwkeuriger de benadering van de golfvorm. Voor cd-geluid gebruiken we 16 bits. We kunnen hiermee dus 32.768 verschillende niveaus naar boven gaan, en nog eens zoveel naar onderen. Dit maakt dat we een zeer goede benadering kunnen maken van de originele golf.
Meer bits gebruiken geeft in theorie beter geluid. Het is echter zo dat geluid met meer niveaus voor een mens niet beter zal klinken omdat ons oor niet zo nauwkeurig is.

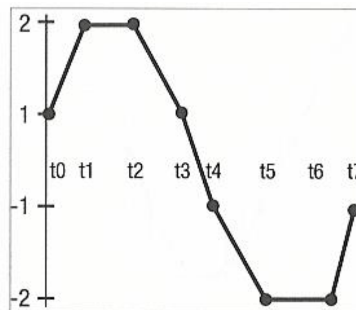


Maar niet enkel het aantal bits telt, ook de frequentie dat we de positie van de golf meten is belangrijk. Dit wordt de samplingfrequentie genoemd en wordt uitgedrukt in Hertz.

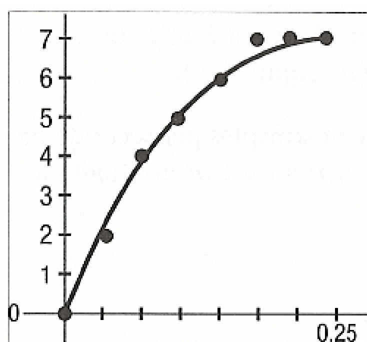
Als we in ons eerste voorbeeld 4 keer per seconde de positie opnemen en we herconstrueren de golfvorm, dan krijgen we dit:

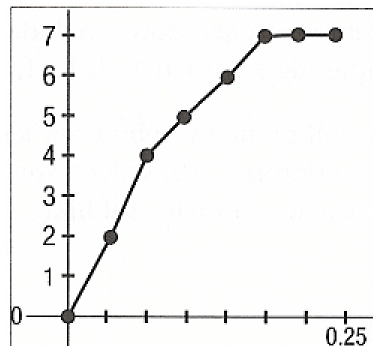


Deze driehoekige golf trekt echter weinig op de originele golf. Als we nu per seconde tweemaal zo dikwijls de positie opmeten, 8 keer dus en we maken deze golf opnieuw, krijgen we dit:



Dit is nog steeds geen goede benadering, maar wel een betere. Als we nu de frequentie nog opdrijven tot 24 keer per seconde, dan krijgen we voor het stukje van de eerste 0,25 seconden de volgende figuur (links). Als we de golfvorm terug reconstrueren, krijgen we de rechtse:





En dit is een nog betere benadering van de originele golf.

Voor cd-geluid gaan we een hele hoge frequentie gebruiken, namelijk 44,1 kHz, ofwel zo'n 44.100 keren per seconde. Waar haalt men nu dit getal?
Men neemt aan bij de cd dat je een frequentie kan horen tot 22.050 Hz. Dit is inderdaad de helft van de frequentie (44,1 kHz) dat men gebruikt. Dit komt doordat een zekere Nyquist, wetenschapper bij AT&Bell Labs vroeger dit zo heeft vastgelegd. De samplingfrequentie dubbel zoveel maken als de maximale frequentie dat men wenst te gebruiken. Deze zorgt ervoor dat voor de mens het duidelijk te horen is en 'natuurlijk' overkomt.

De combinatie van 44,1 kHz en 16-bit informatie te gebruiken kunnen we cd-kwaliteit verkrijgen.   Deze kwaliteit is ruim voldoende voor alle doeleinden om geluid op te slaan, het

is praktisch perfect. Hij draagt het volledige bereik van frequenties met het volledige dynamische bereik dat een mens kan horen. Op een cd voegt men er bovendien nog een tweede ‘geluidsspoor’ aan toe. Men zet op een cd 2 keer geluid met 44,1 kHz en 16-bit kwaliteit, dit voor de stereo weergave.

Hoe wordt digitaal geluid opgeslagen?

Digitaal geluid moet opgeslagen worden op een harde schijf, CD, DVD,... Hier zijn verschillende technieken voor.

De eerste techniek is gewoon opslaan wat er wordt opgenomen. Alle informatie die dus wordt gewonnen uit het samplen van het geluidssignaal gewoon opslaan. Dit is het zogenaamde PCM formaat: Pulse Code Modulation. Het meest bekende formaat hiervan is .WAV voor de gewone PC. Het formaat AIFF wordt gebruikt voor de Apple Macintosh. Beide bestandsindelingen bevatten exact dezelfde informatie, maar net in de omgekeerde volgorde.
Deze formaten vragen zeer veel opslagcapaciteit, maar vragen weinig rekenwerk aan de computer. Op een CD is het geluid ook opgeslagen op een dergelijke manier. Het vraagt zeer veel plaats maar het is snel. Dit maakt het mogelijk om op een computer tegelijk meerdere geluidsbanden ('sporen') te mixen, zelfs tot meer dan 30 tegelijk.

Een tweede techniek is het gebruiken van MIDI (staat voor Musical Instrument Digital Interface). Dit is het opslaan van welke noot men speelt. MIDI kan niet met een gewone microfoon worden opgenomen. Het moet worden opgenomen met speciale muziekinstrumenten die doorgeven wat er exact is ingedrukt. Deze reeks gegevens wordt dan opgeslagen, samen met een basistoon. Deze basistoon zal dan per noot worden verhoogd of worden verlaagd. Als men verschillende 'sporen' mixt, kan men op deze manier muziek krijgen. Dit formaat vraagt zeer weinig opslag, maar is niet bruikbaar voor commerciële muziek, kan geen stem bevatten en kan niet dienen voor gewone opnames.

Een derde en laatste techniek is het comprimeren van geluid. Dit is meestal met verlies van gegevens, maar dit bestudeerd op de manier dat een mens geluid hoort. Men gaat ervan uit: wat een mens niét hoort, moet niet opgeslagen worden.
Het bekendste hiervan is MP3, dit staat voor Moving Picture Experts Group Level-2 Layer-3. Deze gebruikt verschillende technieken tegelijk om het geluid kleiner te krijgen. Om te starten gooit het alle geluid weg wat een gemiddelde persoon niet kan horen. Op een cd zet men geluid tot 22 kHz, de meeste mensen horen echter maar tot zo'n 15 kHz. Bovendien zijn er weinig, zoniet geen, liedjes die tot deze erg hoge tonen gaan.
Als tweede kan MP3 het bestand nog eens halveren door het geluid Mono op te slaan. Zeer veel liedjes gebruiken geen Stereo, waardoor dit overbodig is. Verder gaat MP3 de frequentie verlagen waarin het geluid wordt opgeslagen. Minder keren per seconde dus informatie. Ook dit maakt heel wat, terwijl dit meestal niet hoorbaar is.
Verder hoeft men ook niet steeds op te slaan wat de positie is ten opzichte van de nulas. Men slaat de positie op ten opzichte van het vorige stukje geluid. In plaats van een cijfer 12.245 en daarna het cijfer 12.246 op te slaan, is het veel kleiner op +1 op te slaan. Bij de tweede mogelijkheid is er echter veel minder binaire gegevens nodig om dit op te slaan.
Als laatste belangrijke stap gaat men ook nog de hoeveelheid bits verlagen dat men opslaat. Men kapt automatisch al af tot 15 kHz, maar voor liedjes die minder gebruiken hoeft dit niet zo hoog te blijven. Bovendien heeft MP3 de mogelijkheid om het bereik dynamisch aan te

passen. Indien er in een liedje maar enkele keren een hoog stuk in voorkomt, is er geen reden waarom al de andere tijd meer informatie moet worden opgeslagen dan nodig is.

Verder zijn er nog een hele reeks andere formaten die ongeveer hetzelfde doen: NeXt/Sun (.au), Amiga (.iff, .svx, .mod, .sam), Dialogic ADPCM (.vox), Pika ADPCN (.voc), Vbase ADPCM (.vba), SoundBlaser (.voc), Apple Macintosh (.snd), MIDI Sample Dump Standard (.sds), enz.
Allemaal zijn ze gebaseerd om de opslag van geluid kleiner te krijgen, dit op zo'n manier die rekening houdt met het horen van een mens. Moest men muziek maken voor honden of andere dieren, zouden deze waardeloos zijn omdat deze dieren andere frequenties horen, andere oren hebben die meer/minder gevoelig zijn, enz.

Een nadeel van deze comprimeertechnieken is echter dat er veel rekenwerk is. Een computer heeft het moeilijk met MP3 af te spelen. Gelukkig zijn de computers tegenwoordig hiervoor sterk genoeg. Het is echter niet de normaalste zaak van de wereld dat een computer bijvoorbeeld 10 MP3 'sporen' tegelijk kan decoderen, dit vraag teveel rekenwerk. Dit is echter wel eenvoudig mogelijk met de PCM indelingen omdat deze geen rekenwerk vragen.

Voordelen analoog - digitaal geluid?

Analoog geluid is niet per definitie slechter. Ook digitaal geluid is per definitie niet slechter. Het is hoe men ermee werkt en hoe je het bekijkt.

De cd-kwaliteit waar ik steeds in dit werkje over schrijf is steeds de referentie. Men kan digitaal geluid met minder kwaliteit opslaan, of met meer kwaliteit; maar dit bespreek ik niet in dit stuk.

Als je informatie zoekt over de kwaliteit van analoog geluid versus digitaal geluid, dan krijg je hier heel wat meningen over. Sommigen vinden cd geluid fantastisch en het geluid van een langspeelplaat afschuwelijk, andere zeggen het net helemaal andersom.

Objectief blijven is de boodschap in dit stuk. Digitaal geluid, dus het geluid op een cd, moet voorgesteld worden als cijfers. Het is echter zo dat bij muziek waarbij zowel luid geluid als zacht geluid samen hoorbaar zijn, dat het moeilijker wordt om er een cijfer op te plakken. Hierdoor kan het gebeuren dat bij dergelijke muziek op een cd het geluid minder goed klinkt. Ook heeft een cd soms een probleem met een overgang tussen zeer luid geluid en plots grote stilte. Deze overgang gaat meestal zeer abrupt en kan daarom niet mooi overkomen. Dit doordat de sampling van het signaal er onvoldoende cijfers kan aangeven bij de overgang van luid naar stil.

Maar u heeft dit waarschijnlijk nog nooit gehoord, en dat is net de bedoeling. Indien men de muziek bewerkt, geluiden mixt en het uiteindelijke liedje onderwerpt aan zogenaamde ‘mastering’, dan houdt men hier rekening mee. Men gaat digitaal deze foutjes aanpassen. Men gaat bij luide en zachte muziek die samen loopt het één een beetje stiller maken en het ander een beetje verzwakken. Men krijgt nu een stiller signaal. Vervolgens versterkt men het geluid digitaal weer en… je hebt perfecte muziek. Dit is mogelijk doordat men bijna altijd alle instrumenten apart opneemt. In een studio zitten bijna nooit alle muziekanten samen. Neen. Eerst de gitarist, dan de drummer, dan de zanger en dan de violist. Alles wordt apart opgenomen en achteraf samengevoegd.

Het probleem van het abrupt overgaan tussen harde en stille stukken van de muziek lost men ook eenvoudig op. Men heeft speciale software geschreven die bij deze overgang toch hier en daar wat aan de cijfers veranderd, waardoor er een soort kunstmatige overgang wordt gecreëerd. Deze zorgt ervoor dat je op de uiteindelijke cd er ook niets meer van hoort.

Tegenstanders van cd’s zeggen dat het in stukjes kappen van de muziek het mishandelen is van het geluid. Men zegt dat het uiteindelijke signaal nooit zo goed kan zijn als het origineel. Men heeft hier echter gelijk in. Maar zelfs zeer geoefende mensen zullen geen verschil horen tussen analoge opnames (of gewoon live muziek) en een professioneel gemaakte cd.
Het is zo dat het geluid zo veel keren per seconde wordt in stukjes gekapt, dat dit nauwelijks effect heeft op het geluid.

Verder zeggen tegenstanders dat het opslaan van het analoge geluid in digitale vorm tijdverlies is. Eerst het samplen van de gegevens, vervolgens opslaan in binaire gegevens om uiteindelijk bij het afspelen terug die digitale gegevens om te zetten naar analoge…
Gelukkig zijn er hiervoor computers. Een computer wordt niet moe en door de enorme snelheid van de computers de dag vandaag is dit geen enkel probleem.
Wel is het zo dat een radiozender die analoog werkt en een digitale zender dat hier een beetje verschil op zit. De analoge zender zal tot bijna 1 seconde sneller hetzelfde programma kunnen uitzenden dan de digitale. De vraag is natuurlijk of dit erg is?

Bovendien biedt het digitale geluid immens veel voordelen. Men kan het mixen, men kan het bewerken, enz. Dit kan niet zomaar bij analoog geluid.

Verder is digitaal geluid niet onderhevig aan externe omstandigheden. Je hebt nog nooit een e-mail aangekregen waarbij er enkele letters veranderd waren. Ook nog nooit een document gedownload of website gedownload waardoor bij het doorsturen van de informatie hier en daar letters veranderden. Het is niet onderhevig aan ruis. Analoog geluid echter wel. Speciale geluidsstudio’s zijn er met speciale apparatuur om het ruis zo laag mogelijk te houden. Alles wat analoog is, is wel onderhevig aan ruis. Als een elektrisch signaal door een draad gaat (bijvoorbeeld tussen de microfoon naar de computer), zal het ruis opvangen. Zelfs als het signaal binnenkomt via de geluidskaart vangt dit ruis op (de metalen computerkast werkt als een enorme ontvanger voor allerlei radiosignalen en dergelijke). Dit is ook de reden dat men bij professionele opnames steeds extern het geluid digitaliseert. Dit zijn relatief kleine toestelletjes die het analoge geluid omzetten naar digitaal geluid. Deze toestelletjes worden speciaal gemaakt om zo weinig mogelijk ruis op te vangen. Eenmaal gedigitaliseerd maakt het niet meer uit hoever het moet gaan in een atmosfeer die ‘dodelijk’ is voor een analoog signaal.

Analoge opslagmedia hebben het nadeel dat zij veel ruis bevatten. Een cassettebandje of langspeelplaat bevat steeds heel wat ruis. Bovendien is een langspeelplaat zeer krasgevoelig en een cassette ‘vergaat’ na een tijdje. Het geluid verzwakt en er komt steeds meer ruis bij.

Als laatste is het voor de muziekindustrie het digitale geluid nog een voordeel: het is eenvoudig te reproduceren. Een cd branden is zeer eenvoudig en kan op zeer grote schaal gebeuren. Langspeelplaten maken is echter moeilijker, geluidscassettes zijn nog moeilijker aan te maken en gaat traag.

Uiteraard is het digitale langs de andere kant weer een nadeel voor de muziekindustrie: doordat het zeer eenvoudig te kopiëren en door te sturen is, zijn er vele illegale kopieën van de muziek.

Conclusie: goed gemaakt digitaal geluid is minstens evengoed als het analoge geluid. Bovendien biedt het veel meer mogelijkheden.

Bronnen

Digitale Sounddesign, Rus Haines, Academic Service
Computer Science Illuminated, Nell Dale en John Lewis, Jones and Bartlett
Encarta 2004 Encyclopedie
http://www.byxtreme.com
http://www.nrc.nl
http://nl.wikipedia.org
http://www.google.be
http://www.diskidee.nl
http://www.walburgcollege.nl
http://home.planet.nl/~waand023/muziek/analoog.html
http://www.nozema.nl